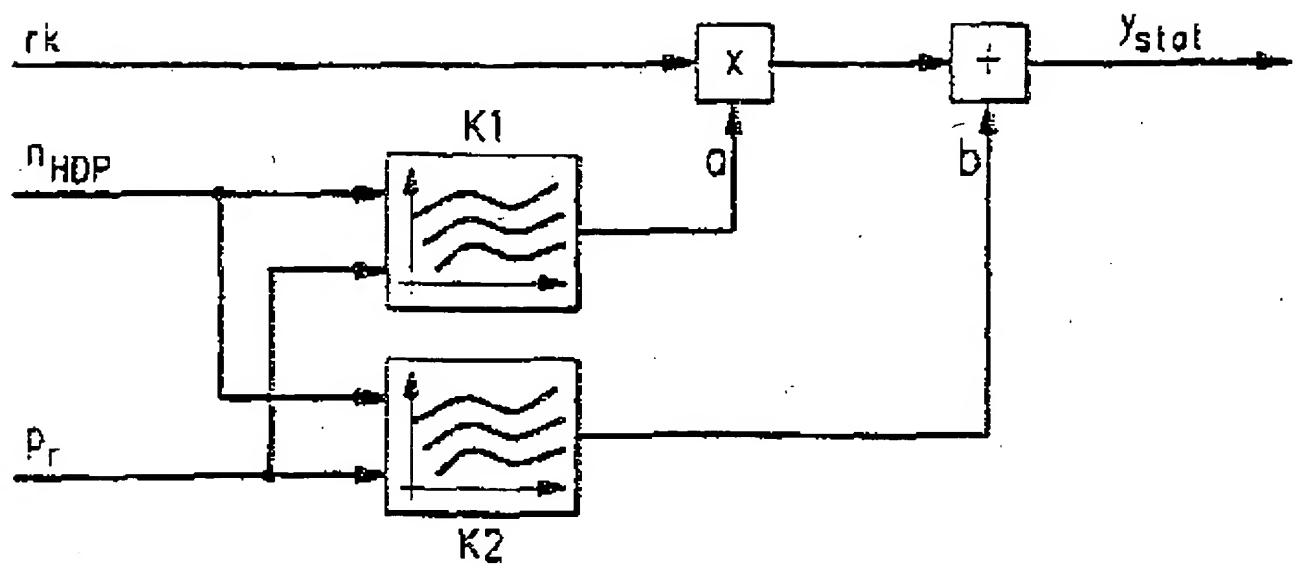


AN: PAT 2002-643991  
TI: Operating method for IC engine has pilot control parameter for regulation of fuel injection provided by at least one characteristic addressed by engine operating point  
PN: WO200275140-A1  
PD: 26.09.2002  
AB: NOVELTY - The operating method uses a fuel dosing system in which fuel is transported from a fuel reservoir to a low pressure region of the fuel dosing system via a first pump and from the low pressure region to a high pressure region via a high pressure pump, for subsequent injection via at least one injection valve, with regulation of the injection pressure (Pr). A pilot control provides regulation of the injection pressure, with a pilot control parameter provided via at least one characteristic field (K1,K2) in dependence on the operating point of the engine. DETAILED DESCRIPTION - Also included are INDEPENDENT CLAIMS for the following: (a) a computer program run by a microprocessor for operation of an IC engine; (b) a memory element for a control device for an IC engine fuel dosing system; (c) a control device for a fuel dosing system for an IC engine; (d) an IC engine fuel dosing system; USE - The operating method is used for a fuel injection IC engine, e. g. an automobile engine. ADVANTAGE - The dynamic characteristics of the fuel dosing system are improved. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a block circuit diagram for providing a static component of a pilot control parameter for a fuel dosing system. Characteristic fields K1,K2 Injection pressure Pr  
PA: (BOSC ) BOSCH GMBH ROBERT;  
IN: AMLER M; BOCHUM H; FRENZ T; JOOS K; WOLBER J;  
FA: WO200275140-A1 26.09.2002; ES2231569-T3 16.05.2005;  
**DE10112702**-A1 02.10.2002; EP1377736-A1 07.01.2004;  
EP1377736-B1 03.11.2004; DE50104445-G 09.12.2004;  
CO: AT; BE; CH; CN; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP; KR; LI; LU; MC; NL; PT; SE; TR; US; WO;  
DN: CN; JP; KR; US;  
DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE; TR; LI;  
IC: F02D-041/14; F02D-041/24; F02D-041/38;  
MC: X22-A03A1;  
DC: Q52; X22;  
FN: 2002643991.gif  
PR: DE1012702 16.03.2001;  
FP: 26.09.2002  
UP: 03.06.2005

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USP 10)**

**19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

**Offenlegungsschrift**  
**DE 101 12 702 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 D 41/38**

- 21** Aktenzeichen: 101 12 702.2  
**22** Anmeldetag: 16. 3. 2001  
**43** Offenlegungstag: 2. 10. 2002

**DE 101 12 702 A1**

- ⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE
- ⑦4 Vertreter:  
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188  
Stuttgart

- (72) Erfinder:**  
Joos, Klaus, 74399 Walheim, DE; Wolber, Jens,  
70839 Gerlingen, DE; Frenz, Thomas, Dr., 86720  
Nördlingen, DE; Amler, Markus, 71229 Leonberg,  
DE; Bochum, Hansjörg, Dr., Novi, Mich., US

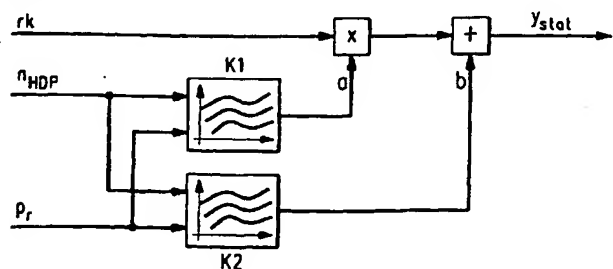
- 56 Entgegenhaltungen:
- |    |               |
|----|---------------|
| DE | 197 47 231 A1 |
| DE | 197 31 994 A1 |
| DE | 195 48 278 A1 |
| DE | 195 39 885 A1 |

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- 54 Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Kraftstoffzumesssystem

- 57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1) mit einem Kraftstoffzumesssystem (11), bei dem Kraftstoff von einer Vorförderpumpe (13) aus einem Kraftstoffvorratsbehälter (12) in einen Niederdruckbereich (ND) des Kraftstoffzumesssystems (11) und von einer Hochdruckpumpe (14) aus dem Niederdruckbereich (ND) in einen Hochdruckbereich (HD) des Kraftstoffzumesssystems (11) gefördert wird. In dem Hochdruckbereich (HD) mit einem Einspritzdruck ( $p_r$ ) anliegender Kraftstoff wird über mindestens ein Einspritzventil (9) zumindest indirekt in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) eingespritzt. Der Einspritzdruck ( $p_r$ ) wird geregelt. Um die Dynamik der Regelung des Einspritzdrucks ( $p_r$ ) zu verbessern, wird vorgeschlagen, dass der Regelung des Einspritzdrucks ( $p_r$ ) mindestens eine Vorsteuerung unterlagert wird, wobei eine Vorsteuergröße ( $y$ ) mit Hilfe von mindestens einem Kennfeld ( $K_1$ ,  $K_2$ ) in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird.



**DE 101 12 702 A1**

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Kraftstoffzumeßsystem. Bei dem Verfahren wird Kraftstoff von einer Vorförderpumpe aus einem Kraftstoffvorratsbehälter in einen Niederdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems und von einer Hochdruckpumpe aus dem Niederdruckbereich in einen Hochdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems gefördert. In dem Hochdruckbereich mit einem Einspritzdruck anliegender Kraftstoff wird über mindestens ein Einspritzventil zumindest indirekt in einen Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt. Dabei wird der Einspritzdruck geregelt.

[0002] Die Erfindung betrifft außerdem ein Computerprogramm, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig ist.

[0003] Des weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Speicherelement für ein Steuergerät eines Kraftstoffzumeßsystems einer Brennkraftmaschine. Das Speicherelement ist insbesondere als ein Read-Only-Memory, als ein Random-Access-Memory oder als ein Flash-Memory ausgebildet. Auf dem Speicherelement ist ein Computerprogramm abgespeichert, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig ist.

[0004] Die Erfindung betrifft außerdem ein Steuergerät für ein Kraftstoffzumeßsystem einer Brennkraftmaschine. Dabei weist das Kraftstoffzumeßsystem eine Vorförderpumpe zum Fördern von Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter in einen Niederdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems und eine Hochdruckpumpe zum Fördern von Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich in einen Hochdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems auf. Des weiteren umfasst das Kraftstoffzumeßsystem mindestens ein Einspritzventil zum zumindest indirekten Einspritzen von in dem Hochdruckbereich mit einem Einspritzdruck anliegendem Kraftstoff in einen Brennraum der Brennkraftmaschine. Das Steuergerät regelt den Einspritzdruck.

[0005] Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung ein Kraftstoffzumeßsystem für eine Brennkraftmaschine. Das Kraftstoffzumeßsystem weist eine Vorförderpumpe zum Fördern von Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter in einen Niederdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems und eine Hochdruckpumpe zum Fördern von Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich in einen Hochdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems auf. Des weiteren umfasst das Kraftstoffzumeßsystem mindestens ein Einspritzventil zum zumindest indirekten Einspritzen von in dem Hochdruckbereich mit einem Einspritzdruck anliegendem Kraftstoff in einen Brennraum der Brennkraftmaschine und ein Steuergerät zur Regelung des Einspritzdrucks.

## Stand der Technik

[0006] Kraftstoffzumeßsysteme der eingangs genannten Art spritzen den Kraftstoff entweder indirekt über ein Luft-Ansaugrohr der Brennkraftmaschine in einen Brennraum der Brennkraftmaschine oder direkt in einen Brennraum der Brennkraftmaschine ein. Systeme zur direkten Einspritzung von Kraftstoff in Brennräume einer Brennkraftmaschine sind bspw. zur Kraftstoffversorgung von Brennkraftmaschinen mit Benzin-Direkteinspritzung (BDE) aus dem Stand der Technik bekannt. Ein solches Kraftstoffzumeßsystem weist eine üblicherweise als Elektrokraftstoffpumpe (EKP) ausgebildete Vorförderpumpe auf, die Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter in einen Niederdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems fördert. Mindestens eine Hochdruckpumpe des Kraftstoffzumeßsystems fördert

Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich in einen Hochdruckspeicher, der in einem Hochdruckbereich des Kraftstoffzumeßsystems angeordnet ist.

[0007] Der Hochdruckspeicher ist bspw. als eine Verteilerleiste eines Common-Rail (CR) Kraftstoffzumeßsystems ausgebildet. Von dem Hochdruckspeicher zweigen Einspritzventile ab, über die Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher mit dem dort herrschenden Einspritzdruck (Raildruck) in die Brennräume der Brennkraftmaschine eingespritzt werden kann.

[0008] Die Einspritzventile werden von einem Steuergerät der Brennkraftmaschine angesteuert. Das Steuergerät hat des weiteren die Aufgabe, über einen Druckregelkreis den in dem Hochdruckspeicher herrschenden Einspritzdruck zu regeln. Eine Erhöhung des Einspritzdrucks kann durch geeignetes Ansteuern der Hochdruckpumpe, also durch Erhöhung der Kraftstoffzufuhr in den Hochdruckspeicher, erzielt werden. Eine Reduzierung des Einspritzdrucks kann durch geeignetes Ansteuern eines aus dem Hochdruckspeicher abzweigenden Steuerventils (Drucksteuerventil) erzielt werden, also durch Erhöhung des Kraftstoffabflusses aus dem Hochdruckspeicher, oder durch Ansteuern eines anderen Steuerventils (Mengensteuerventil), durch das die Förderleistung der Hochdruckpumpe reduziert werden kann. Zum Erfassen des in dem Hochdruckspeicher herrschenden Einspritzdrucks ist in den Hochdruckspeicher ein Drucksensor angeordnet.

[0009] Ein Kraftstoffzumeßsystem der eingangs genannten Art und ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit einem Kraftstoffzumeßsystem der eingangs genannten Art sind bspw. aus der DE 195 39 885 A1 bekannt. Auf diese Druckschrift wird ausdrücklich Bezug genommen. Der Einspritzdruck in dem Hochdruckbereich wird bei dem bekannten Kraftstoffzumeßsystem durch eine geeignete Ansteuerung eines Drucksteuerventils geregelt. Die Regelung des Einspritzdrucks ist zwar recht genau, sie weist insbesondere bei Last- und Drehzahldynamik, d. h. bei starken Schwankungen des Einspritzdrucks (z. B. aufgrund eines plötzlichen Vollastbetriebs der Brennkraftmaschine), jedoch nur eine unzureichende Dynamik auf. Bei Last- und Drehzahldynamik ergeben sich relativ hohe Druckabweichungen zwischen Ist-Wert und Soll-Wert.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das dynamische Verhalten eines Kraftstoffzumeßsystems einer Brennkraftmaschine zu verbessern.

[0011] Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung ausgehend von dem Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vor, dass der Regelung des Einspritzdrucks mindestens eine Vorsteuerung unterlagert wird, wobei eine Vorsteuergröße mit Hilfe von mindestens einem Kennfeld in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

## Vorteile der Erfindung

[0012] Die Vorsteuerung ist der Regelung des Einspritzdrucks unterlagert. Sowohl die Vorsteuerung als auch die Regelung des Einspritzdrucks steuern ein einer Hochdruckpumpe zugeordnetes Steuerventil (Drucksteuerventil, Mengensteuerventil) an. Bei unabhängig von der Brennkraftmaschine angetriebenen Hochdruckpumpen, bspw. bei elektrisch angetriebenen Hochdruckpumpen, bei denen die Fördermenge der Hochdruckpumpe über die Pumpendrehzahl variiert werden kann, ist es denkbar, dass die Vorsteuerung und die Regelung einen elektrischen Antriebsmotor der Hochdruckpumpe ansteuern.

[0013] Die Vorsteuerung führt eine erste Steuerung des Einspritzdrucks in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt der

Brennkraftmaschine aus. Die überlagerte Regelung des Einspritzdrucks regelt diesen gesteuerten Wert dann auf einen genaueren Wert. Die unterlagerte Vorsteuerung führt den Ist-Wert des Einspritzdrucks bereits recht genau an einen Soll-Wert heran. Die überlagerte Regelung muss dann nur noch eine relativ geringe Regeldifferenz ausregeln. Dadurch kann der Ist-Wert des Einspritzdrucks besonders schnell auf den Soll-Wert geregelt werden. Durch die der Regelung des Einspritzdrucks unterlagerte Vorsteuerung kann also das dynamische Verhalten des Kraftstoffzumeßsystems deutlich verbessert werden.

[0014] Die relativ geringe Dynamik der Regelung des Einspritzdrucks bei auftretenden Last- oder Drehzahlschwankungen kann durch den Einsatz einer unterlagerten Vorsteuerung deutlich verbessert werden. Mit der Vorsteuerung können bei einem geregelten Kraftstoffzumeßsystem die Druckabweichungen bei Last- oder Drehzahldynamik verringert werden. Außerdem ist ein Notlaufbetrieb der Brennkraftmaschine möglich, da bei Ausfall der Regelung (bspw. aufgrund eines defekten Drucksensors) das Kraftstoffzumeßsystem je nach Güte der Vorsteuerung auch mit verringerter Genauigkeit des Einspritzdrucks von der Vorsteuerung gesteuert betrieben werden kann. Durch die Vorsteuerung steht schließlich auch eine zusätzliche Diagnosemöglichkeit zur Verfügung. So kann aus der Regeldifferenz zwischen einer Vorsteuergröße am Ausgang der Vorsteuerung und dem Soll-Wert des Einspritzdrucks eine Aussage über die Funktionsfähigkeit eines Hochdruckkreises abgeleitet werden.

[0015] Statt die Vorsteuerung auf relativ aufwendige Weise aus physikalischen Grundgleichungen als mathematisches Modell der Hochdruckpumpe auszuführen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, eine Vorsteuergröße der Vorsteuerung mit Hilfe von Kennfeldern zu ermitteln. Aus den Kennfeldern kann in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine die Vorsteuergröße ermittelt werden. Die in den Kennfeldern gespeicherten Meßwerte können auf einfache Weise auf einem Prüfstand empirisch ermittelt werden. In den aufgenommen Meßwerten sind alle sich auf den Einspritzdruck auswirkende Effekte berücksichtigt.

[0016] In dem oder jedem Kennfeld sind in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine Werte abgelegt, aus denen entweder unmittelbar oder mittelbar durch mathematische Verknüpfung der einzelnen Werte eine Vorsteuergröße der Vorsteuerung ermittelt werden kann.

[0017] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Vorsteuergröße in Abhängigkeit von dem aktuellen in dem Hochdruckbereich herrschenden Einspritzdruck ermittelt wird. Des weiteren wird vorgeschlagen, dass die Vorsteuergröße in Abhängigkeit von der Drehzahl der Hochdruckpumpe ermittelt wird. Diese steht in direktem Zusammenhang mit der Förderrate der Pumpe. Schließlich wird vorgeschlagen, dass die Vorsteuergröße in Abhängigkeit von dem von der Brennkraftmaschine geforderten Kraftstoffstrom ermittelt wird. Es hat sich gezeigt, dass der aktuelle Einspritzdruck, die Drehzahl der Hochdruckpumpe und der von der Brennkraftmaschine geforderte Kraftstoffstrom die Haupteinflußgrößen auf den in dem Hochdruckbereich herrschenden Einspritzdruck sind. Aus dem Einspritzdruck und der Pumpendrehzahl kann die von der Hochdruckpumpe geförderte Kraftstoffmenge und aus dem geforderten Kraftstoffstrom und dem aktuellen Einspritzdruck ein Soll-Förderstrom ermittelt werden.

[0018] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass als die Vorsteuergröße eine Ansteuergröße für die Hochdruck-

pumpe anhand einer Geradengleichung über dem von der Brennkraftmaschine geforderten Kraftstoffstrom ermittelt wird, wobei die Verstärkung und der Offset der Geradengleichung mit Hilfe von Kennfeldern in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ermittelt werden. Erfindungsgemäß ist also erkannt worden, dass die Pumpenansteuergröße als eine Geradengleichung über dem von der Brennkraftmaschine geforderten Kraftstoffstrom dargestellt werden kann. Die Verstärkung und der Offset der Geradengleichung sind dabei abhängig von dem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine und können mit Hilfe von Kennfeldern ermittelt werden.

[0019] Vorteilhafterweise wird die Verstärkung der Geradengleichung mit Hilfe eines ersten Kennfelds in Abhängigkeit von der Drehzahl der Hochdruckpumpe und dem aktuellen Einspritzdruck ermittelt. Die von einem Steuergerät der Brennkraftmaschine berechnete Kenngröße für den aktuellen Kraftstoffbedarf der Brennkraftmaschine wird mit dem ersten Kennfeld multipliziert, in dem abhängig von der Drehzahl der Hochdruckpumpe und dem Einspritzdruck die Verstärkung der Geradengleichung abgelegt ist.

[0020] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass der Offset der Geradengleichung mit Hilfe eines zweiten Kennfelds in Abhängigkeit von der Drehzahl der Hochdruckpumpe und dem aktuellen Einspritzdruck ermittelt wird. Zu dem mittels des ersten Kennfeldes ermittelten Wert wird ein aus einem zweiten Kennfeld in Abhängigkeit von der Drehzahl der Hochdruckpumpe und dem Einspritzdruck ermittelter Offset der Geradengleichung in dem aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine addiert. Das Ergebnis der Geradengleichung mit den sich mit Hilfe des ersten Kennfeldes und des zweiten Kennfeldes ergebenden Werten (Verstärkung und Offset) stellt eine gute Annäherung an die wahre Ansteuergröße dar. Die Regeldifferenz, die von der übergeordneten Regelung des Einspritzdrucks dann noch ausgeregelt werden muß, ist sehr klein, so dass die Regelung eine besonders hohe Dynamik aufweist.

[0021] Unter Umständen kann eine Spannungskompensation und/oder eine Temperaturkompensation der Vorsteuergröße notwendig sein. Deshalb wird gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass die ermittelte Vorsteuergröße in Abhängigkeit von einer Versorgungsspannung einer Kraftfahrzeugbatterie und/oder von der Außentemperatur korrigiert wird. Vorteilhafterweise wird eine Korrekturgröße ebenfalls mit Hilfe von Kennfeldern spannungsabhängig bzw. temperaturabhängig ermittelt. Die Korrekturgröße ist bspw. ein Korrekturfaktor, mit dem die mit Hilfe des ersten Kennfeldes und des zweiten Kennfeldes ermittelte Vorsteuergröße multipliziert wird.

[0022] Der mit Hilfe des ersten Kennfeldes und des zweiten Kennfeldes ermittelte Wert der Vorsteuergröße stellt einen statischen Anteil dar. Bei starken Last- oder Drehzahlschwankungen sind jedoch relativ langsame Einschwingvorgänge zu beobachten, die von der Vorsteuerung ebenfalls berücksichtigt, d. h. beschleunigt, werden sollten. Aus diesem Grund wird gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgeschlagen, dass zu dem statischen Anteil der ermittelten Vorsteuergröße ein dynamischer Anteil addiert wird, durch den bei einer Änderung des Einspritzdrucks, der Drehzahl und/oder des Kraftstoffstroms ein Überspringen der Vorsteuergröße ausgelöst wird. Durch das kurzzeitige Überspringen der Vorsteuergröße können die Einschwingvorgänge insbesondere bei starken Last- oder Drehzahlschwankungen deutlich beschleunigt werden, was zu einer besonders hohen Dynamik des Kraftstoffzumeßsystems führt. Der dynamische Anteil

wird vorteilhaftweise mit Hilfe eines differenzierenden Übertragungsgliedes, das vorzugsweise ein DT1-Verhalten aufweist, ermittelt. Das differenzierte Übertragungsglied kann bspw. immer bei einer Änderung des geforderten Kraftstoffstroms, der Drehzahl der Hochdruckpumpe oder des aktuellen Einspritzdrucks einen zusätzlichen Korrekturwert ermitteln und diesen bei der Berechnung der Vorsteuergröße berücksichtigen.

[0023] Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm, das zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist, wenn es auf einem Recheng Gerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, abläuft. Besonders bevorzugt ist dabei, wenn das Computerprogramm auf einem Speicherelement, insbesondere auf einem Flash-Memory abgespeichert ist. Das Computerprogramm stellt in gleicher Weise die Erfindung dar, wie das Verfahren zu dessen Ausführung es geeignet ist.

[0024] Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Form eines Speicherelements, das für ein Steuergerät eines Kraftstoffzumeßsystems einer Brennkraftmaschine vorgesehen ist. Dabei ist auf dem Speicherelement ein Computerprogramm abgespeichert, das auf einem Recheng Gerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfindung durch ein auf dem Speicherelement abgespeichertes Computerprogramm realisiert, so dass dieses mit dem Computerprogramm versehene Speicherelement in gleicher Weise die Erfindung darstellt wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Computerprogramm geeignet ist. Als Speicherelement kann insbesondere ein elektrisches Speichermedium zur Anwendung kommen, bspw. ein Read-Only-Memory, ein Random-Access-Memory oder ein Flash-Memory.

[0025] Als eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von dem Steuergerät für ein Kraftstoffzumeßsystem einer Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Steuergerät mindestens eine der Regelung des Einspritzdrucks unterlagerte Vorsteuerung aufweist und eine Vorsteuergröße mit Hilfe von mindestens einem Kennfeld in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ermittelt.

[0026] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Steuergerät Mittel zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist.

[0027] Als noch eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von dem Kraftstoffzumeßsystem für eine Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Kraftstoffzumeßsystem mindestens eine der Regelung des Einspritzdrucks unterlagerte Vorsteuerung aufweist und eine Vorsteuergröße mit Hilfe von einem Kennfeld in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ermittelt.

[0028] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Kraftstoffzumeßsystem Mittel zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist.

#### Zeichnungen

[0029] Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Pa-

tentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung. Es zeigen:

[0030] Fig. 1 eine Brennkraftmaschine mit einem erfindungsgemäßen Kraftstoffzumeßsystem;

[0031] Fig. 2 ein Blockschaltbild für die Ermittlung einer Vorsteuergröße einer Vorsteuerung des Einspritzdrucks gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0032] Fig. 3 ein Blockschaltbild für die Ermittlung eines dynamischen Anteils der Vorsteuergröße; und

[0033] Fig. 4 ein Blockschaltbild für die Ermittlung eines statischen Anteils der Vorsteuergröße.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0034] In Fig. 1 ist eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine 1 eines Kraftfahrzeugs dargestellt, bei der Kolben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar ist. Der Zylinder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, der u. a. durch den Kolben 2, ein Einlaßventil 5 und ein Auslaßventil 6 begrenzt ist. Mit dem Einlaßventil 5 ist ein Ansaugrohr 7 und mit dem Auslaßventil 6 ein Abgasrohr 8 gekoppelt.

[0035] Im Bereich des Einlaßventils 5 und des Auslaßventils 6 ragen ein Einspritzventil 9 und eine Zündkerze 10 in den Brennraum 4. Über das Einspritzventil 9 kann Kraftstoff in den Brennraum 4 eingespritzt werden. Mit der Zündkerze 10 kann Kraftstoff mit dem Brennraum 4 entzündet werden. Der Kolben 2 wird durch die Verbrennung des Kraftstoffs in den Brennraum 4 in eine Hin- und Herbewegung versetzt, die auf eine nicht dargestellte Kurbelwelle übertragen wird und auf diese ein Drehmoment ausübt.

[0036] Die Brennkraftmaschine 1 weist ein Kraftstoffzumeßsystem 11 auf, durch das der über das Einspritzventil 9 in den Brennraum 4 einzuspritzende Kraftstoff zugemessen wird. Das Kraftstoffzumeßsystem 11 weist einen Kraftstoffvorratsbehälter 12 auf, aus dem von einer als Elektrokraftstoffpumpe (EKP) ausgebildeten Vorförderpumpe 13 Kraftstoff in einen Niederdruckbereich ND des Kraftstoffzumeßsystems 11 gefördert wird. Eine Hochdruckpumpe 14 fördert Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich ND in einen Hochdruckspeicher 16 in einem Hochdruckbereich HD des Kraftstoffzumeßsystems 11. Die Hochdruckpumpe 14 ist als eine 1-Zylinder-Hochdruckpumpe mit zwei Rückschlagventilen 17, einem Saugventil am Eingang und einem Druckventil am Ausgang der Hochdruckpumpe 14, und einem Mengensteuerventil 18 (MSV) ausgebildet. Durch das Mengensteuerventil 18 kann eine Rücklaufleitung 19 geöffnet bzw. geschlossen werden. Durch Öffnen des Mengensteuerventils 18 kann die Förderung der Hochdruckpumpe 14 unterbrochen werden, da der angesaugte Kraftstoff wieder in den Niederdruckkreislauf zurückgeschoben wird, anstatt in den Hochdruckkreislauf gefördert zu werden. Das Mengensteuerventil 18 wird mittels eines Steuersignals T angesteuert. Alternativ kann die Hochdruckpumpe 14 auch als eine 3- oder Mehrzylinder-Hochdruckpumpe mit einem Drucksteuerventil (DSV) ausgebildet sein, das mittels des Ansteuersignals T angesteuert wird.

[0037] Der Hochdruckspeicher 16 ist als eine Speicherleiste eines Common-Rail (CR)-Kraftstoffzumeßsystems ausgebildet. An dem Hochdruckspeicher 16 ist ein Drucksensor 24 angeordnet, der den in dem Hochdruckbereich HD herrschenden Einspritzdruck erfasst. Aus dem Hochdruckspeicher 16 zeigen mehrere – im vorliegenden Fall vier – Einspritzventile 9 ab, über die Kraftstoff in die Brennräume 4 der Zylinder 3 der Brennkraftmaschine 1 eingespritzt wird. Zum Einspritzen von Kraftstoff werden die Einspritzventile 9 mit einem entsprechenden Ansteuersignal ES angesteuert. Die Zündkerze 10 wird durch ein Ansteuersignal ZW ange-



steuert.

[0038] Um den Druck in dem Niederdruckbereich ND des Kraftstoffzumesssystems 11 auf einem vorgebbaren Wert zu halten, ist in dem Niederdruckbereich ND ein Niederdruckregler 20 angeordnet, über den Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich ND zurück in den Kraftstoffvorratsbehälter 12 fließen kann, falls der Druck in dem Niederdruckbereich einen vorgebbaren Druckwert übersteigt. Zwischen der Vorförderpumpe 13 und der Hochdruckpumpe 14 ist ein Kraftstofffilter 21 angeordnet.

[0039] Ein Steuergerät 22 der Brennkraftmaschine 1 ist von Eingangssignalen 23 beaufschlagt, die mittels Sensoren gemessene Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 oder andere Zustandsgrößen darstellen. Das Steuergerät 22 ist bspw. mit einem Luftmassensensor, einem Lambdasensor, einem Drehzahlsensor oder dem Drucksensor 24 (Sensorsignal  $p_r$ ) verbunden. Das Steuergerät 22 erzeugt Ausgangssignale 25, mit denen über Aktoren bzw. Steller das Verhalten der Brennkraftmaschine 1 beeinflusst werden kann. Das Steuergerät 22 ist bspw. mit dem Einspritzventil 9 (Ansteuersignal ES), der Zündkerze 10 (Ansteuersignal ZW) dem Mengensteuerventil 18 (Ansteuersignal T) oder einer in dem Ansaugrohr 7 angeordneten Drosselklappe verbunden und erzeugt die zu deren Ansteuerung erforderlichen Signale.

[0040] Das Steuergerät 22 ist u. a. dazu vorgesehen, die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine zu steuern und/oder zu regeln. Das Steuergerät 22 steuert bzw. regelt die von dem Einspritzventil 9 in den Brennraum 4 eingespritzte Kraftstoffmasse und den Zündzeitpunkt des in dem Brennraum 4 befindlichen Kraftstoff/Luft-Gemisches im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder eine geringe Schadstoffemission. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 22 mit einem Mikroprozessor 26 versehen, der in einem Speicherelement, insbesondere in einem Flash-Memory 27 ein Computerprogramm abgespeichert hat, das dazu geeignet ist, die genannte Steuerung bzw. Regelung durchzuführen.

[0041] Des weiteren ist das Steuergerät 22 dazu vorgesehen, den in dem Hochdruckspeicher 16 herrschenden Einspritzdruck  $p_r$  in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 1 zu regeln. Das in dem Flash-Memory 27 abgespeicherte Computerprogramm ist dazu geeignet, die Regelung des Einspritzdrucks auszuführen, wenn es auf dem Mikroprozessor 26 abläuft.

[0042] Die Brennkraftmaschine 1 aus Fig. 1 kann in einer Vielzahl von Betriebsarten betrieben werden. So ist es bspw. möglich, die Brennkraftmaschine 1 in einem Homogenbetrieb, einem Schichtbetrieb oder einem homogenen Magerbetrieb zu betreiben. Zwischen den genannten Betriebsarten der Brennkraftmaschine 1 kann umgeschaltet werden. Derartige Umschaltungen werden ebenfalls von dem Steuergerät 22 durchgeführt.

[0043] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist der Regelung des Einspritzdrucks  $p_r$  mindestens eine Vorsteuerung unterlagert. Mit Hilfe der Vorsteuerung kann lastabhängig oder über die Drehzahl der Hochdruckpumpe 14 eine deutliche Verbesserung der dynamischen Eigenschaften der Einspritzdruck-Regelung erzielt werden. In Fig. 2 ist ein Blockschaltbild für die Ermittlung einer Vorsteuergröße  $y$  einer Vorsteuerung des Einspritzdrucks  $p_r$  gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Über die Vorsteuergröße  $y$  wird die Hochdruckpumpe 14 derart angesteuert, dass sich als Einspritzdruck-Ist-Wert ein gewünschter Einspritzdruck-Soll-Wert einstellt. Eine Erhöhung des Einspritzdrucks  $p_r$  kann durch Erhöhung der Kraftstoffzufuhr in den Hochdruckspeicher 16 erzielt werden. Eine Reduzierung des Einspritzdrucks  $p_r$  kann durch geeignetes Ansteuern des Mengensteuerventils 18, durch das die Förderleistung der Hoch-

druckpumpe 14 reduziert werden kann, erzielt werden.

[0044] Die Vorsteuergröße  $y$  wird aus der Summe eines stationären Anteils  $y_{stat}$  und eines dynamischen Anteils  $y_{dyn}$  berechnet. Ein Blockschaltbild zur Ermittlung des dynamischen Anteils  $y_{dyn}$  der Vorsteuergröße  $y$  ist in Fig. 3 dargestellt. Zunächst wird ein Produkt aus einem Verstärkungsfaktor  $v$  und der von der Brennkraftmaschine 1 benötigten Kraftstoffmenge  $r_k$  gebildet, das über ein differenzierendes Übertragungsglied mit einem DT1-Verhalten geführt wird. Das DT1-Übertragungsglied wird dadurch modelliert, dass von dem Produkt  $v \cdot r_k$  ein tieffpassgefilterter Anteil abgezogen wird. Die Zeitkonstante  $T_{konst}$  des Tiefpasses kann vorgegeben werden. Durch das Übertragungsglied wird bspw. bei starken Lastwechseln oder Schwankungen der Drehzahl  $n_{HDP}$  der Hochdruckpumpe 14 ein überhöhter Sprung des dynamischen Anteils  $y_{dyn}$  erzeugt. Aufgrund des erhöhten Sprungs schwingt die Vorsteuergröße  $y$  wesentlich schneller ein. Im stationären Zustand ist der dynamische Anteil  $y_{dyn}$  gleich Null.

[0045] In Fig. 4 ist ein Blockschaltbild zur Ermittlung des statischen Anteils  $y_{stat}$  der Vorsteuergröße  $y$  dargestellt. Der statische Anteil  $y_{stat}$  wird durch einen Geradengleichung  $y_{stat} = a \cdot r_k + b$  angenähert. Die Verstärkung  $a$  der Geradengleichung wird mit Hilfe eines ersten Kennfeldes K1 in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n_{HDP}$  der Hochdruckpumpe 14 und dem aktuellen Einspritzdruck  $p_r$  ermittelt und mit der von der Brennkraftmaschine 1 benötigten Kraftstoffmenge  $r_k$  multipliziert. Der Offset  $b$  der Geradengleichung wird mit Hilfe eines zweiten Kennfeldes K2 ebenfalls in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n_{HDP}$  der Hochdruckpumpe 14 und dem aktuellen Einspritzdruck  $p_r$  ermittelt. Die Summe aus dem Offset  $b$  und dem Produkt aus Verstärkung  $a$  und Kraftstoffmenge  $r_k$  bildet den stationären Anteil  $y_{stat}$ .

[0046] In dem ersten Kennfeld K1 sind betriebspunktabhängig verschiedene Werte für die Verstärkung  $a$  der Geradengleichung abgelegt. Ebenso sind in dem zweiten Kennfeld K2 betriebspunktabhängig verschiedene Werte für den Offset  $b$  der Geradengleichung abgelegt. Die in den Kennfeldern K1, K2 abgelegten Werte können auf einfache Weise bspw. auf einem Prüfstand empirisch ermittelt werden. Der Vorteil empirisch ermittelter Werte liegt insbesondere darin, dass sämtliche Störgrößen, die sich auf den Einspritzdruck  $p_r$  auswirken, Berücksichtigung finden.

[0047] Falls erwünscht, kann eine Kraftfahrzeugbatteriespannungs- oder Temperaturkompensation vorgesehen werden. Es ist bspw. denkbar, auf den stationären Wert  $y_{stat}$  einen Korrekturwert zu berücksichtigen, der aus einem spannungs- oder temperaturabhängigen Kennfeld ermittelt wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1) mit einem Kraftstoffzumesssystem (11), bei dem Kraftstoff von einer Vorförderpumpe (13) aus einem Kraftstoffvorratsbehälter (12) in einen Niederdruckbereich (ND) des Kraftstoffzumesssystems (11) und von einer Hochdruckpumpe (14) aus dem Niederdruckbereich (ND) in einen Hochdruckbereich (HD) des Kraftstoffzumesssystems (11) gefördert und in dem Hochdruckbereich (HD) mit einem Einspritzdruck ( $p_r$ ) anliegender Kraftstoff über mindestens ein Einspritzventil (9) zumindest indirekt in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) eingespritzt wird, wobei der Einspritzdruck ( $p_r$ ) geregelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regelung des Einspritzdrucks ( $p_r$ ) mindestens eine Vorsteuerung unterlagert wird, wobei eine Vorsteuergröße ( $y$ ) mit Hilfe von mindestens ei-

nem Kennfeld (K1, K2) in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorsteuergröße (y) in Abhängigkeit von dem aktuellen Einspritzdruck (p<sub>r</sub>) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorsteuergröße (y) in Abhängigkeit von der Drehzahl (n<sub>HDP</sub>) der Hochdruckpumpe (14) ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorsteuergröße (y) in Abhängigkeit von dem von der Brennkraftmaschine (1) geforderten Kraftstoffstrom (rk) ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als die Vorsteuergröße (y) eine Ansteuergröße für die Hochdruckpumpe (14) an Hand einer Geradengleichung ( $y = a \cdot rk + b$ ) über dem von der Brennkraftmaschine (1) geforderten Kraftstoffstrom (rk) ermittelt wird, wobei die Verstärkung (a) und der Offset (b) der Geradengleichung mit Hilfe von Kennfeldern (K1, K2) in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) ermittelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkung (a) der Geradengleichung mit Hilfe eines ersten Kennfelds (K1) in Abhängigkeit von der Drehzahl (n<sub>HDP</sub>) der Hochdruckpumpe (14) und dem aktuellen Einspritzdruck (p<sub>r</sub>) ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Offset (b) der Geradengleichung mit Hilfe eines zweiten Kennfelds (K2) in Abhängigkeit von der Drehzahl (n<sub>HDP</sub>) der Hochdruckpumpe (14) und dem aktuellen Einspritzdruck (p<sub>r</sub>) ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelte Vorsteuergröße (y) in Abhängigkeit von einer Versorgungsspannung einer Kraftfahrzeugbatterie und/oder von der Außentemperatur korrigiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Korrekturgröße mit Hilfe von Kennfeldern spannungsabhängig bzw. temperaturabhängig ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zu der ermittelten Vorsteuergröße (y<sub>stat</sub>) ein dynamischer Anteil (y<sub>dyn</sub>) addiert wird, durch den bei einer Änderung des Einspritzdrucks (p<sub>r</sub>), der Drehzahl (n<sub>HDP</sub>) und/oder des Kraftstoffstroms (rk) ein Überschwingen der Vorsteuergröße (y) ausgelöst wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der dynamische Anteil (y<sub>dyn</sub>) mit Hilfe eines differenzierenden Übertragungsglieds (DT1), das vorzugsweise ein DT1-Verhalten aufweist, ermittelt wird.

12. Computerprogramm, das auf einem Rechnergerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor (26), ablauffähig ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Computerprogramm zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 geeignet ist, wenn es auf dem Rechnergerät abläuft.

13. Computerprogramm nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Computerprogramm auf einem Speicherelement, insbesondere auf einem Flash-Memory (27), abgespeichert ist.

14. Speicherelement, insbesondere Read-Only-Memory, Random-Access-Memory oder Flash-Memory (27), für ein Steuergerät (22) eines Kraftstoffzumesssystems

(11) einer Brennkraftmaschine (1), auf dem ein Computerprogramm abgespeichert ist, das auf einem Rechnergerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor (26), ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 geeignet ist.

15. Steuergerät (22) für ein Kraftstoffzumesssystem (11) einer Brennkraftmaschine (1), wobei das Kraftstoffzumesssystem (11) eine Vorförderpumpe (13) zum Fördern von Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter (12) in einen Niederdruckbereich (ND) des Kraftstoffzumesssystems (11), eine Hochdruckpumpe (14) zum Fördern von Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich (ND) in einen Hochdruckbereich (HD) des Kraftstoffzumesssystems (11) und mindestens ein Einspritzventil (9) zum zumindest indirekten Einspritzen von in dem Hochdruckbereich (HD) mit einem Einspritzdruck (p<sub>r</sub>) anliegendem Kraftstoff in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) aufweist, wobei das Steuergerät (22) den Einspritzdruck (p<sub>r</sub>) regelt, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (22) mindestens eine der Regelung des Einspritzdrucks (p<sub>r</sub>) unterlagerte Vorsteuerung aufweist und eine Vorsteuergröße (y) mit Hilfe von mindestens einem Kennfeld (K1, K2) in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) ermittelt.

16. Steuergerät (22) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (22) Mittel zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 11 aufweist.

17. Kraftstoffzumesssystem (11) für eine Brennkraftmaschine (1), wobei das Kraftstoffzumesssystem (11) eine Vorförderpumpe (13) zum Fördern von Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter (12) in einen Niederdruckbereich (ND) des Kraftstoffzumesssystems (11), eine Hochdruckpumpe (14) zum Fördern von Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich (ND) in einen Hochdruckbereich (HD) des Kraftstoffzumesssystems (11), mindestens ein Einspritzventil (9) zum zumindest indirekten Einspritzen von in dem Hochdruckbereich (HD) mit einem Einspritzdruck (p<sub>r</sub>) anliegendem Kraftstoff in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) und ein Steuergerät (22) zur Regelung des Einspritzdrucks (p<sub>r</sub>) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftstoffzumesssystem (11) mindestens eine der Regelung des Einspritzdrucks (p<sub>r</sub>) unterlagerte Vorsteuerung aufweist und eine Vorsteuergröße (y) mit Hilfe von mindestens einem Kennfeld (K1, K2) in Abhängigkeit von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) ermittelt.

18. Kraftstoffzumesssystem (11) nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftstoffzumesssystem (11) Mittel zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 11 aufweist.

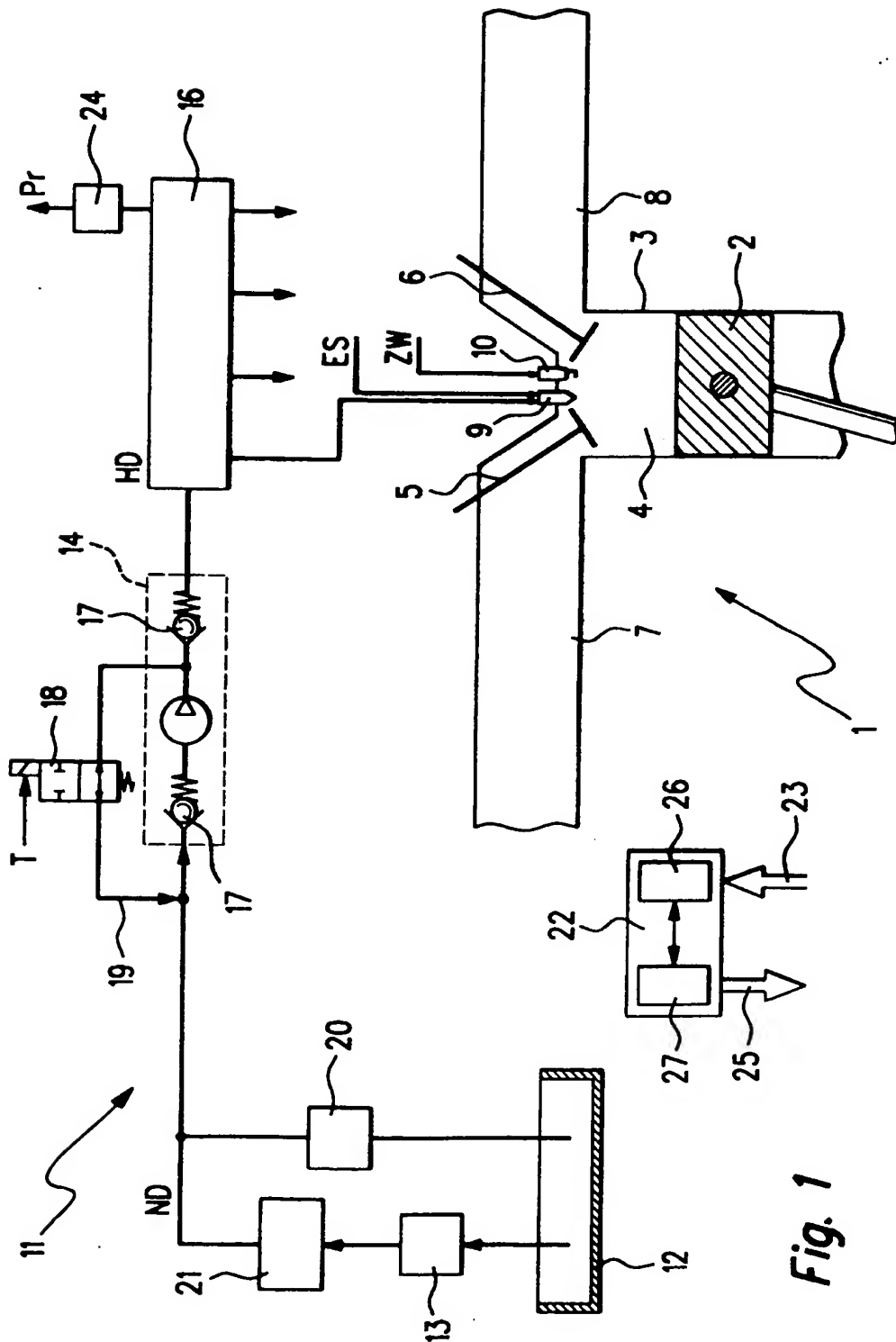
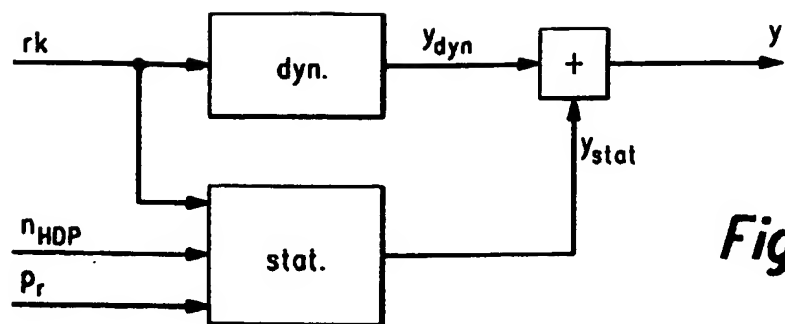
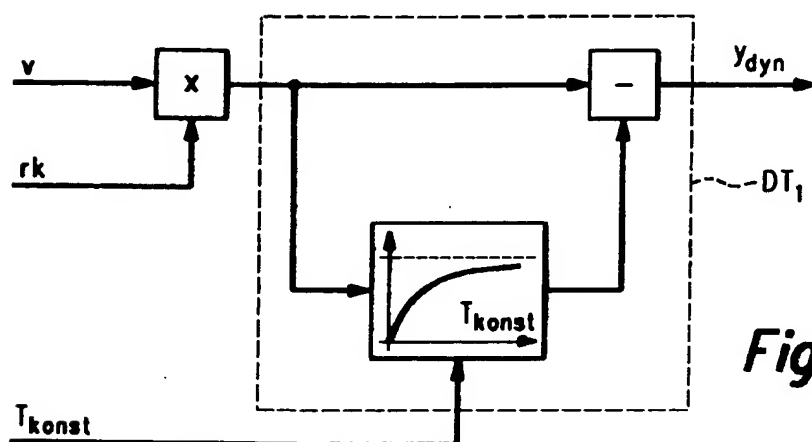


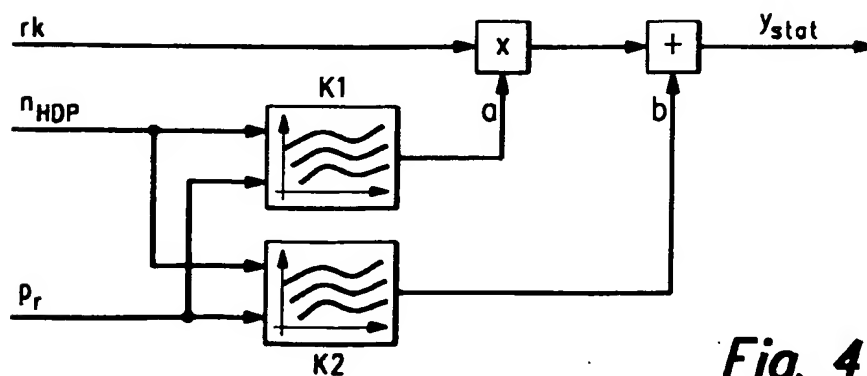
Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**